Journal of Agricultural Machinery
Vol. 11, No. 2, Fall- Winter 2021, p. 293-303

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۴۰۰، ص ۳۰۳-۲۹۳

مقاله علمی-پژوهشی

مدل‌سازی تأمین انرژی گلخانه‌ها با بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر در حالت اتصال به شبکه انرژی

سعید میرزامحمدی[1*]، آرمین جبارزاده[2]، مهران صالحی شهرابی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۳

چکیده

علی‌رغم عملکرد مناسب گلخانه‌ها در بخش تولید محصولات کشاورزی، نیاز به میزان بالای انرژی مستقیم و غیرمستقیم گلخانه‌ها از ملاحظات اصلی توسعه آن‌ها در کشورها است. به همین جهت، توسعه گلخانه‌ها با بهره‌مندی از منابع تجدیدپذیر از جمله راهکارهای اتخاذ شده در کشورهای در حال توسعه است. اما جدای از مزایای زیست‌محیطی منابع تجدیدپذیر، برخی ملاحظات اقتصادی نظیر بالا بودن سرمایه اولیه مورد نیاز آن‌ها، به‌کارگیری منابع تجدیدپذیر برای تأمین انرژی مورد نیاز گلخانه‌ها را با ملاحظاتی روبه‌رو می‌سازد. در این پژوهش موضوع تأمین انرژی مورد نیاز گلخانه‌ها با بهره‌گیری از منابع‌تجدیدپذیر در حالت اتصال به شبکه مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجایی که در حالت اتصال به شبکه، امکان خرید و فروش انرژی با شبکه اصلی وجود دارد، ابتدا مدل‌سازی ریاضی تعیین تعداد بهینه منابع تجدیدپذیر و ذخیره‌سازهای انرژی با هدف بیشینه‌سازی درآمد ارائه شده است. در ادامه با تولید داده‌های مختلف، مدل‌سازی فوق در ۹ مسئله مختلف حل شده و مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج به‌دست آمده از مسائل فوق نشان‌دهنده حساسیت بالای قیمت فروش برق نسبت به قیمت خرید برق در تعیین میزان تخصیص انرژی منابع تجدیدپذیر به گلخانه یا شبکه است. به نحوی که در حالت اختلاف ۱۰برابری قیمت فروش برق به شبکه نسبت به قیمت خرید برق از شبکه، مشاهده می‌گردد تمامی مقادیر منابع تجدیدپذیر به شبکه تخصیص می‌یابد و به تعداد کل ۲۸۸ ساعت دوره برنامه‌ریزی می‌رسد. همچنین نتایج نشان می‌دهند میزان بالای در دسترس بودن منابع مختلف انرژی تجدیدپذیر در منطقه جغرافیایی مورد بررسی، می‌تواند منجر به عدم توجیه اقتصادی به‌کارگیری هم‌زمان منابع مختلف تجدیدپذیر گردد. به همین جهت مشاهده می‌گردد با در نظر گرفتن عملکرد مناسب انرژی بادی در مسئله مورد بررسی و در حالت برابری هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تعمیرات نگهداری انرژی‌های بادی و خورشیدی، استفاده از انرژی خورشیدی مقرون به‌صرفه نمی‌باشد. درحالی‌که با درنظر گرفتن هزینه سرمایه‌گذاری ۲ برابری و هزینه ۱/۵ برابری تعمیرات نگهداری انرژی بادی نسبت انرژی خورشیدی، استفاده از انرژی بادی مقرون به صرفه نخواهد بود.

واژه‌های کلیدی: امنیت انرژی، امنیت غذایی، انرژی‌های تجدیدپذیر، برنامه‌ریزی انرژی، گلخانه

مقدمه

با افزایش روز افزون جمعیّت در دنیا از یک سو و محدودیت‌های منابع آب و خاک از سویی دیگر، نیاز به تأمین محصولات کشاورزی با بهره‌مندی از روش‌های نوین بیش از پیش مطرح می‌باشد. یکی از این روش‌های نوین کشاورزی، کشت محصولات در گلخانه‌های تجاری است. گلخانه‌های تجاری ضمن تولید محصولات خارج از فصل، امکان تولید محصولات کشاورزی با کیفیت و محافظت از محصولات در شرایط آب و هوایی نامساعد نظیر باد و باران نیز دارا هستند (Vadiee and Martin, 2014). همین امر باعث می‌شود که راندمان گلخانه‌های تجاری ۱۰ تا ۲۰ برابر راندمان کشت در زمین‌های کشاورزی باشد (Nederhoff and Houter, 2007). علی‌رغم عملکرد مناسب گلخانه‌ها در بخش کشاورزی، نیاز به میزان بالای انرژی مستقیم (شامل انواع سوخت مورد نیاز برای گرمایش، سرمایش و نیازهای الکتریکی) و غیرمستقیم (شامل نیروی انسانی، کود، تجهیزات و سایر موارد مصرفی) از ملاحظات اصلی توسعه آن‌ها است. چراکه تأمین انرژی مورد نیاز گلخانه‌ها بیشترین تاثیر را در عملکرد گلخانه‌ها، کیفیت و قیمت بازار محصولات را دارند. بررسی رابطه میان راندمان تولید گوجه‌فرنگی زمستانی نسبت به میزان انرژی ورودی در گلخانه‌های منطقه آنتالیای ترکیه (Ozkan *et al.*, 2011)، راندمان تولید توت‌فرنگی نسبت به میزان انرژی ورودی در گلخانه‌های ایران (Banaeian *et al.*, 2011)، راندمان تولید سبزیجات نسبت به میزان انرژی ورودی در گلخانه‌های ایران (Heidari and Omid, 2011) و نتایج سایر پژوهش‌های مرتبط (Pahlavan *et al.*, 2012; Mohammadi and Omid, 2010; Hatirli *et al.*, 2006; Samavatean *et al.*, 2011)، اهمیت تأمین انرژی ورودی را در شاخص‌های عملکردی گلخانه‌ها نشان می‌دهد.

۱- استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران
۲- استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران
۳- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: mirzamohammadi@iust.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v11i2.79780

لذا کشورها برای توسعه گلخانه‌های خود می‌بایست به جنبه تأمین انرژی مورد نیاز گلخانه‌ها توجه نمایند. از جمله مهمترین روش‌های برآورد انرژی مورد نیاز گلخانه‌ها می‌توان به‌کارگیری مدل‌های کمی نظیر شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌های فراابتکاری را نام برد (Blasco *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2016).

تأمین انرژی مورد نیاز بخش‌های مختلف مصرفی از جمله گلخانه‌ها، عموماً در کشورها توسط سوخت‌های فسیلی انجام می‌شود. اما با توجه به محدودیت ذخایر سوخت‌های فسیلی و همچنین اثرات منفی آن‌ها در آب و هوا نظیر پدیده گرمایش زمین، استفاده هر چه بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر در دستور کشورها جهان قرار گرفته است. در همین راستا، توسعه گلخانه‌ها نیز با بهره‌مندی از انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر انرژی خورشیدی در کشورهای در حال توسعه مورد توجه قرار گرفته (Cuce *et al.*, 2016) و از ابعاد مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله این موضوعات می‌توان به بررسی شکل گلخانه‌ها و تاثیر آن بر حفظ انرژی خورشیدی در گلخانه و هدر رفت آن در محیط بیرون گلخانه (Mobtaker *et al.*, 2016)، مدل‌سازی و کنترل انرژی مورد نیاز گلخانه‌ها از منابع متنوع تجدیدپذیر و یا ترکیبی با سوخت‌های فسیلی (Petreus *et al.*, 2015)، بررسی سیستم‌های کنترل محیطی (گرمایش، سرمایش و روشنایی) در گلخانه‌ها (Momeni and Rahmati, 2012) و بهره‌گیری از تجهیزات اضافی برای حفظ هرچه بیشتر انرژی خورشیدی نظیر متمرکزکننده‌ی سهموی و جمع‌کننده‌ی خورشیدی (Mortezapour *et al.*, 2017) و اثر دیوار شمالی بر مقدار مصرف انرژی گلخانه‌ها (Ghasemi Mobtaker *et al.*, 2017) اشاره نمود. جدای از مزایای زیست‌محیطی، بالا بودن سرمایه اولیه مورد نیاز به‌کارگیری منابع تجدیدپذیر علی‌رغم پایین بودن هزینه‌های تعمیرات-نگهداری و سوخت و کم بودن دوره بازگشت سرمایه (Fabrizio, 2012)، به‌کارگیری منابع تجدیدپذیر برای تأمین انرژی مورد نیاز گلخانه‌ها را از لحاظ اقتصادی با اما و اگرهایی روبه‌رو می‌سازد. لذا برای بررسی اقتصادی این موضوع، در دو حالت جزیره‌ای و اتصال به شبکه می‌توان به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر برای تأمین انرژی گلخانه‌ها را مورد مطالعه قرار داد. در حالت جزیره‌ای، نظام ریزشبکه‌ای متشکل از یکسری منابع تجدیدپذیر، ذخیره‌سازها و منابع انرژی پشتیبان ایجاد می‌شود (Lasseter, 2002). در این حالت برای گلخانه‌ها، مهمترین موضوع قابلیت اطمینان تأمین به‌موقع انرژی در کنار کاهش هزینه‌ها است. در حالت اتصال به شبکه، علاوه بر امکان تأمین انرژی از شبکه اصلی در کنار منابع تجدیدپذیر، امکان فروش انرژی تجدیدپذیر به شبکه اصلی نیز می‌تواند وجود داشته باشد. (Hussain *et al.*, 2018) استفاده از منابع تجدیدپذیر برای تأمین انرژی‌های گلخانه را در دو حالت ریزشبکه و اتصال به شبکه مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها با هدف کمینه‌کردن هزینه‌ها اقدام به ارائه مدل مدیریت انرژی متشکل از واحدهای تجدیدپذیر و واحدهای تولید هم‌زمان برق و حرارت با درنظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا و تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر پرداخته‌اند. اما مدل‌سازی‌های مطالعه مذکور بدون درنظر گرفتن دوره چندساله به‌کارگیری منابع تجدیدپذیر بوده و هزینه‌های مختلف نظیر هزینه راه‌اندازی و هزینه خرید و فروش برق که از نظر مقیاس و ارزش زمانی یکسان نبوده را در عبارت تابع هدف باهم جمع نموده است. همچنین تمامی هزینه‌ها و درآمدها نظیر هزینه تعمیرات نگهداری و یا درآمد اسقاط تجهیزات در آخر دوره نیز در مدل درنظر گرفته نشده است. از لحاظ مدل‌سازی نیز پارامترهای اشاره شده در مقاله نظیر کنترل دمای محیط گلخانه، به درستی در محدودیت‌ها ارائه نشده‌اند و تاثیری در مقدار تابع هدف ندارند.

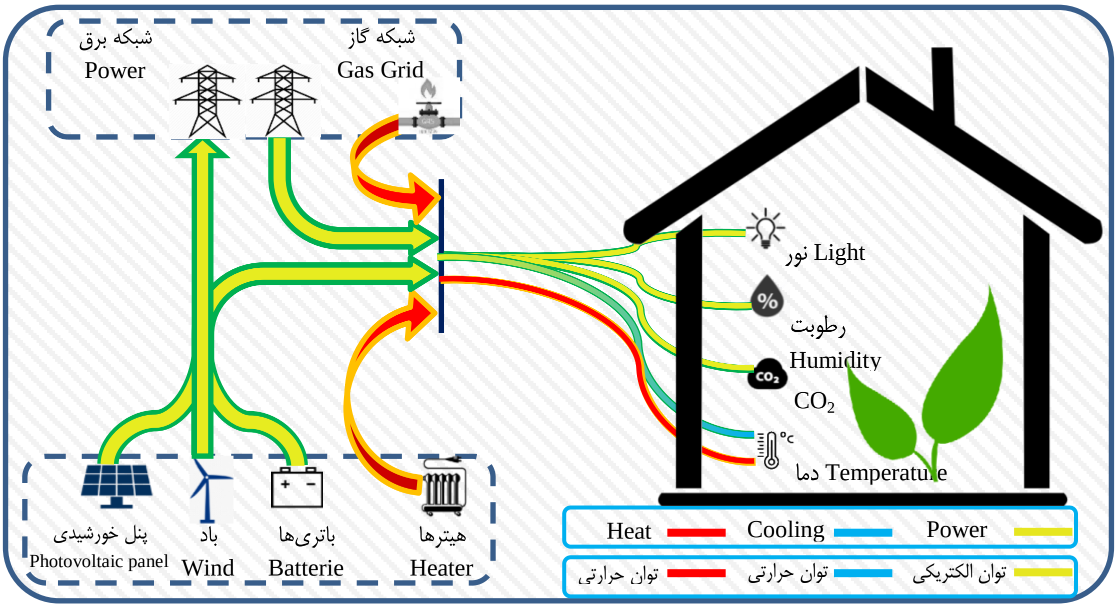
با توجه به گسترش گلخانه‌ها در حومه شهرها و نیاز اصلی گلخانه‌ها به تأمین انرژی برای حفظ شرایط محیطی مناسب رشد محصولات، موضوع تأمین انرژی گلخانه‌ها با بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر در این مسئله مورد نظر است. از آنجایی‌که بسیاری از گلخانه‌ها در حال حاضر دسترسی مناسبی به شبکه اصلی برای تأمین بار مورد نیاز خود را دارند، این مسئله به دنبال بررسی استفاده حداکثری از منابع تجدیدپذیر به‌جای خرید توان از شبکه برای تأمین بارهای مورد نظر گلخانه‌ها خواهد بود. لذا از آنجایی که در حالت اتصال به شبکه، امکان خرید و فروش انرژی با شبکه اصلی وجود دارد، مدل‌سازی تعیین تعداد بهینه منابع تجدیدپذیر و ذخیره‌سازهای انرژی با هدف بیشینه‌سازی درآمد ارائه می‌شود. بدین منظور با درنظر گرفتن هزینه‌های سرمایه‌گذاری، تعمیرات و نگهداری، خرید انرژی و سوخت مورد نیاز CHP[1]ها، و همچنین با درنظر گرفتن درآمدهای حاصل از فروش برق به شبکه، درآمد ناشی از صرفه‌جویی عدم خرید انرژی مورد نیاز از شبکه و درآمد ناشی از اسقاط تجهیزات در پایان دوره، اقدام به بهینه‌سازی تابع هدف می‌گردد. در ادامه با تولید داده‌های مختلف، مدل‌سازی فوق در ۹ مسئله مختلف حل و مورد تحلیل قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌طور اساسی تأمین انرژی برای گلخانه‌ها و یا به عبارت دیگر تأمین بارهای الکتریکی، سرمایشی و گرمایشی مورد نیاز گلخانه‌ها برای چهار مولفه اصلی روشنایی، دمای داخلی، انتشار CO_2 و رطوبت نسبی عمدتاً خواهد بود (Bozchalui *et al.*, 2015). اگر گلخانه به شبکه اصلی متصل باشد، با استفاده از برق و گاز می‌تواند توان مورد نیاز تجهیزات الکتریکی، سرمایشی و گرمایشی خود را تأمین نماید. اما می‌توان بررسی نمود در صورت استفاده از واحدهای انرژی تجدیدپذیر

1- Combined Heat and Power

به همراه ذخیره‌سازها و تولیدکنندگان حرارت، تا چه میزان تأمین انرژی گلخانه‌ها در طول روز توسط این واحدهای انرژی و ذخیره‌سازها به جای خرید برق و گاز از شبکه اصلی می‌تواند مقرون به صرفه باشد. به عبارت دیگر، تأمین انرژی مورد نیاز گلخانه‌ها با بهره‌مندی از منابع انرژی تجدیدپذیر به‌عنوان منابع اصلی و توان اصلی شبکه به‌عنوان منبع پشتیبان در این مسئله مورد نظر است. با ایجاد چنین سیستمی، علاوه بر تأمین انرژی مورد نیاز گلخانه، تبادل انرژی میان منابع تجدیدپذیر و شبکه اصلی در قالب خرید و فروش توان تولیدی به‌وجود می‌آید. نظام توصیف شده برای تأمین انرژی گلخانه را می‌توان در شکل ۱ ملاحظه نمود.



شکل ۱– تبادل انرژی میان منابع تجدیدپذیر، شبکه اصلی انرژی و گلخانه

Fig.1. Energy exchange between renewable energies, main energy grid and greenhouse

همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، اگر بارهای مورد نیاز گلخانه توسط واحدهای انرژی تجدیدپذیر و ذخیره‌سازها و هیترها تأمین شود، علاوه بر درآمد حاصل از صرفه‌جویی ناشی از عدم خرید توان از شبکه اصلی، در برخی اوقات نیز می‌توان مازاد توان الکتریکی تولید شده را به شبکه اصلی فروخت و درآمد دیگری نیز حاصل نمود. اما تحقق این درآمدها وابسته به تعداد واحدهای انرژی و ذخیره‌سازها هستند. لذا هدف از برنامه‌ریزی انرژی گلخانه با بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر، تعیین تعداد بهینه واحدهای انرژی و ذخیره‌سازها با توجه به پارامترهای هزینه‌ای و درآمدی و محدودیت‌ها است. با تعیین این تعداد بهینه واحدهای انرژی و ذخیره‌سازها و مشخص شدن میزان توان تولیدی منابع تجدیدپذیر در هر ساعت از برنامه‌ریزی، چهار حالت مختلف متناسب با میزان تأمین انرژی مورد نیاز گلخانه می‌تواند رخ دهد: فروش توان به شبکه اصلی، خرید توان از شبکه اصلی، ذخیره توان در ذخیره‌سازها و تأمین بار توسط ذخیره باتری‌ها.

با توجه به نظام توصیف شده، فرضیات زیر در مسئله مورد بررسی حاکم است:

– تأمین بارهای مورد نیاز گلخانه به‌صورت ساعتی در طول روز و برای تمام ایام سال برنامه‌ریزی می‌شود.

– بار سرمایشی گلخانه توسط تجهیزات با توان الکتریکی تأمین می‌گردند.

– میزان بهره‌مندی از واحدهای انرژی و ذخیره‌سازها به نسبت یکسان از هر کدام از آن‌ها انجام می‌شوند.

– فروش برق به شبکه فقط توسط منابع تجدیدپذیر انجام می‌شود و از ذخیره‌سازها انجام نمی‌شود.

– هزینه‌های مربوط به مبدل‌های AC/DC برای تبادل توان میان واحدهای تجدیدپذیر با شبکه و تجهیزات گلخانه صرف‌نظر شده است.

– میزان تلفات انرژی از تولید تا مصرف، صفر در نظر گرفته‌شده است.

– ظرفیت باتری‌ها محدود فرض شده اما توان شارژ یا دشارژ باتری می‌تواند تا اندازه ظرفیتش انجام شود.

با توجه به هدف مسئله و فرضیات حاکم بر مسئله، میزان بهره‌مندی از واحدهای تجدیدپذیر می‌تواند با و بدون هزینه فرض شود. در این پژوهش تعیین تعداد بهینه واحدهای انرژی و ذخیره‌سازها با فرض هزینه صفر تولید توان از منابع تجدیدپذیر انجام می‌شود. در این حالت صرفاً هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تعمیرات نگهداری منابع تجدیدپذیر درنظر گرفته می‌شود و بدیهی است در صورت استفاده از هر واحد فتوولتاییک، تمام توان تولیدی آن تاحد ممکن مورد استفاده قرار گیرد.

Sets مجموعه‌ها			
ساعات شبانه‌روز Hours of day	$h = \{1,2,\ldots,24\}$	روزهای سال Days of year	$d = \{1,2,\ldots,365\}$
سال‌های دوره عمر پروژه Years of Project Life	$y = \{1,2,\ldots,n\}$		
Decision variables متغیرهای تصمیم			
تعداد پنل‌های فتوولتاییک Number of photovoltaic panels	N_{pv}	تعداد توربین‌های بادی Number of wind turbines	N_{wd}
تعداد باتری Number of Batteries	N_{bt}	تعداد هیترها Number of heaters	N_{ht}
Auxiliary variables متغیرهای کمکی			
میزان خرید توان الکتریکی از شبکه در ساعت hام روز dام سال yام Electricity buying from the grid at h[th] hour d[th] day y[th] year	P^{e-buy}_{hdy}	توان فروخته شده توربین بادی به شبکه در ساعت hام روز dام سال yام Selling power of wind turbines to main grid at h[th] hour d[th] day y[th] year	$P^{Gr}_{wd_{hdy}}$
میزان خرید توان حرارتی از شبکه در ساعت hام روز dام سال yام Heat buying from the grid at h[th] hour d[th] day y[th] year	P^{h-buy}_{hdy}	توان حرارتی خروجی هیتر در ساعت hام روز dام سال yام Output heat power of heaters at h[th] hour d[th] day y[th] year	$P_{ht_{hdy}}$
توان استفاده شده پنل فتوولتاییک در گلخانه در ساعت hام روز dام سال yام Used power of photovoltaic panels in the greenhouse at h[th] hour d[th] day y[th] year	$P^{GH}_{pv_{hdy}}$	میزان شارژ باتری در ساعت hام روز dام سال yام Charge power of batteries at h[th] hour d[th] day y[th] year	$P^{ch}_{bt_{hdy}}$
توان فروخته شده پنل فتوولتاییک به شبکه در ساعت hام روز dام سال yام Selling power of photovoltaic panels to main grid at h[th] hour d[th] day y[th] year	$P^{Gr}_{pv_{hdy}}$	میزان دشارژ باتری در ساعت hام روز dام سال yام Discharge power of batteries at h[th] hour d[th] day y[th] year	$P^{dis}_{bt_{hdy}}$
توان استفاده شده توربین بادی در گلخانه در ساعت hام روز dام سال yام Used power of wind turbines in the greenhouse at h[th] hour d[th] day y[th] year			$P^{GH}_{wd_{hdy}}$
Parameters پارامترها			
هزینه خرید توان الکتریکی از شبکه در ساعت hام روز dام سال yام Cost of electricity buying from the grid at h[th] hour d[th] day y[th] year	C^{e-buy}_{hdy}	هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری باتری Investment cost of batteries	C^{Inv}_{bt}
هزینه خرید توان حرارتی از شبکه در ساعت hام روز dام سال yام Cost of heat buying from the grid at h[th] hour d[th] day y[th] year	C^{h-buy}_{hdy}	هزینه تعمیرات نگهداری باتری Maintenance cost of batteries	C^{PM}_{bt}
درآمد فروش توان الکتریکی به شبکه در ساعت hام روز dام سال yام Revenue of electricity selling to the grid at h[th] hour d[th] day y[th] year	R^{e-sale}_{hdy}	درآمد اسقاط تجهیزات باتری Salvage revenue of batteries	R_{bt}
هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری پنل فتوولتاییک Investment cost of photovoltaic panels	C^{Inv}_{pv}	هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری هیتر Investment cost of heaters	C^{Inv}_{ht}
هزینه تعمیرات نگهداری پنل فتوولتاییک Maintenance cost of photovoltaic panels	C^{PM}_{pv}	هزینه تعمیرات نگهداری هیتر Maintenance cost of heaters	C^{PM}_{ht}
درآمد اسقاط تجهیزات پنل فتوولتاییک Maintenance cost of photovoltaic panels	R_{pv}	درآمد اسقاط تجهیزات هیتر Salvage revenue of heaters	R_{ht}
توان الکتریکی خروجی پنل فتوولتاییک در ساعت hام روز dام سال yام Output power of photovoltaic panels at h[th] hour d[th] day y[th] year	$P_{pv_{hdy}}$	حداکثر توان گرمایشی خروجی هر یک از هیترها Maximum heat output power of each heater unit	P^{h-max}_{ht}
هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری توربین بادی Investment cost of wind turbines	C^{Inv}_{wd}	تقاضای بار الکتریکی Electricity load demand	$P^{e}_{load_{hdy}}$
هزینه تعمیرات نگهداری توربین بادی Maintenance cost of wind turbines	C^{PM}_{wd}	تقاضای بار حرارتی Heat load demand	$P^{h}_{load_{hdy}}$
درآمد اسقاط تجهیزات توربین بادی Salvage revenue of wind turbines	R_{wd}	سرمایه در دسترس Available investment	A
توان الکتریکی خروجی توربین بادی در ساعت hام روز dام سال yام Output power of wind turbines at h[th] hour d[th] day y[th] year	$P_{wd_{hdy}}$	نرخ بهره Interest rate	i

مدل‌سازی

برای تعیین تعداد بهینه واحدهای انرژی مورد نیاز گلخانه در این پژوهش از مدل‌سازی ریاضی استفاده می‌گردد. در مدل‌سازی ارائه شده بازه مجاز تعداد منابع انرژی اعداد صحیح بوده و بازه مجاز مقادیر تخصیص‌یافته انرژی به‌صورت پیوسته است که باعث می‌شود مدل در حالت اعداد صحیح آمیخته قرار گیرد. همچنین با توجه به ضرب شده متغیرها در یکدیگر مدل از نوع غیرخطی می‌باشد. در نتیجه مدل ارائه شده در این مسئله از نوع MINLP[1] خواهد بود.

در ادامه ابتدا نمادهای به‌کار رفته معرفی می‌شوند و سپس اجزای مدل و روابط آن تشریح خواهند گشت.

تابع هدف

در این مسئله، هدف یافتن تعداد بهینه منابع انرژی و ذخیره‌سازها خواهد بود به نحوی که درآمد حاصل از به‌کارگیری منابع تجدیدپذیر برای تأمین بارهای مورد نیاز گلخانه را با توجه به محدودیت‌های موجود بیشینه سازد. با توجه به نوسانات تولید برق از منابع تجدیدپذیر در طول شبانه‌روز، مسئله به دنبال این موضوع است که در هر ساعت از برنامه‌ریزی در طول شبانه روز، چه میزان از توان تولیدی منابع تجدیدپذیر را استفاده نماید و چه میزان از آن را ذخیره سازد و یا به شبکه بفروشد. اجزای درآمدی مسئله شامل درآمد حاصل از فروش برق به شبکه، درآمد حاصل از صرفه‌جویی ناشی از عدم استفاده از توان شبکه و همچنین درآمد حاصل از اسقاط تجهیزات بوده که در معادلات (۲) تا (۷) قابل مشاهده می‌باشد. در نهایت تابع هدف مسئله حاصل از مجموع درآمدها و کسر نمودن هزینه‌ها در رابطه (۱) نشان داده شده است.

1- Mixed Integer Nonlinear Programming

$$\max(R_T) = R_{Sl} + R_{Sv} + R_{Sg} - C_{By} - C_{PM} - C_{Inv} \quad (۱)$$

$$R_{Sl} = \sum_{y=1}^{n}\sum_{d=1}^{365}\sum_{h=1}^{24}\left(N_{pv}P_{pv_{hdy}}^{Gr} + N_{wd}P_{wd_{hdy}}^{Gr}\right)R_{hdy}^{e-sale} \quad (۲)$$

$$R_{Sv} = \sum_{y=1}^{n}\sum_{d=1}^{365}\sum_{h=1}^{24}\left[\left(N_{pv}P_{pv_{hdy}}^{GH} + N_{wd}P_{wd_{hdy}}^{GH}\right)C_{hdy}^{e-buy} + N_{ht}P_{ht_{hdy}}C_{hdy}^{h-buy}\right] \quad (۳)$$

$$R_{Sg} = N_{pv}R_{pv}^{s} + N_{wd}R_{wd}^{s} + N_{bt}R_{bt}^{s} + N_{ht}R_{ht}^{s} \quad (۴)$$

$$C_{By} = \sum_{y=1}^{n}\sum_{d=1}^{365}\sum_{h=1}^{24}\left(P_{hdy}^{e-buy}C_{hdy}^{e-buy} + P_{hdy}^{h-buy}C_{hdy}^{h-buy}\right) \quad (۵)$$

$$C_{PM} = N_{pv}C_{pv}^{PM} + N_{wd}C_{wd}^{PM} + N_{bt}C_{bt}^{PM} + N_{ht}C_{ht}^{PM} \quad (۶)$$

$$C_{Inv} = N_{pv}C_{pv}^{Inv} + N_{wd}C_{wd}^{Inv} + N_{bt}C_{bt}^{Inv} + N_{ht}C_{ht}^{Inv} \quad (۷)$$

در روابط فوق، رابطه (۲) نشان‌دهنده درآمد ناشی از فروش توان الکتریکی از منابع بادی و خورشیدی به شبکه اصلی است. در رابطه (۳) هزینه توان الکتریکی و حرارتی تأمین شده توسط منابع تجدیدپذیر و هیترها برای گلخانه به‌جای خرید از شبکه اصلی به‌عنوان درآمد خواهد بود. رابطه (۴) درآمد ناشی از اسقاط منابع تجدیدپذیر، هیترها و ذخیره‌سازها است. رابطه (۵) هزینه خرید توان الکتریکی و حرارتی از شبکه اصلی است. رابطه (۶) هزینه تعمیرات نگهداری و رابطه (۷) هزینه سرمایه‌گذاری متناسب با تعداد منابع انرژی و ذخیره‌سازها است.

همان‌گونه که در روابط فوق مشاهده می‌گردد، هزینه‌های سرمایه‌گذاری یکبار در ابتدای پروژه انجام می‌گردد در حالی‌که هزینه‌های تعمیرات نگهداری و عدم تأمین بارهای مورد نیاز چندین‌بار در طول پروژه به‌وجود می‌آیند. لذا برای همگن‌سازی ارزش هزینه‌های فوق از رویکرد ارزش خالص فعلی (NPV) استفاده می‌گردد. بدین منظور برای هزینه‌های تعمیرات نگهداری که هر ساله اتفاق می‌افتد از رابطه (۸) و برای درآمد حاصل از اسقاط تجهیزات که در پایان دوره اتفاق می‌افتد و همچنین برای عدم تأمین بارها که ممکن است در روزهای مختلفی به‌وجود بیاید از رابطه (۹) استفاده می‌گردد.

$$NPV = A\left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right] \quad (۸)$$

$$NPV = F\left[\frac{1}{(1+i)^n}\right] \quad (۹)$$

در نتیجه تابع هدف مسئله به‌صورت رابطه (۱۰) خواهد شد.

$$\begin{aligned} R_T = &\sum_{y=1}^{n}\left[\left(\sum_{d=1}^{365}\sum_{h=1}^{24}\left(N_{pv}P_{pv_{hdy}}^{Gr} + N_{wd}P_{wd_{hdy}}^{Gr}\right)R_{hdy}^{e-sale}\right)\left(\frac{1}{(1+i)^y}\right)\right] \\ &+ \sum_{y=1}^{n}\left[\left(\sum_{d=1}^{365}\sum_{h=1}^{24}\left(\left(N_{pv}P_{pv_{hdy}}^{GH} + N_{wd}P_{wd_{hdy}}^{GH}\right)C_{hdy}^{e-buy} + N_{ht}P_{ht_{hdy}}C_{hdy}^{h-buy}\right)\right)\left(\frac{1}{(1+i)^y}\right)\right] \\ &+ R_{sg}\left[\frac{1}{(1+i)^n}\right] - \sum_{y=1}^{n}\left[\left(\sum_{d=1}^{365}\sum_{h=1}^{24}\left(P_{hdy}^{e-buy}C_{hdy}^{e-buy} + P_{hdy}^{h-buy}C_{hdy}^{h-buy}\right)\right)\left(\frac{1}{(1+i)^y}\right)\right] \\ &- C_{PM}\left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right] - C_{Inv} \end{aligned} \quad (۱۰)$$

قیود

رابطه (۱۱)، مربوط به تعادل توان تولیدی الکتریکی و توان مصرفی الکتریکی و سرمایشی در گلخانه است. این محدودیت بیانگر این مطلب است که در هر ساعت از برنامه‌ریزی، مدل تصمیم می‌گیرد که چه میزان از توان تولیدی منابع تجدیدپذیر را برای بارهای مورد نیاز الکتریکی و سرمایشی گلخانه تخصیص دهد و چه میزان از آن را برای ذخیره در باتری یا برای هیترها ارسال نماید. همچنین در صورت عدم کفایت توان منابع تجدیدپذیر نسبت به بارهای مورد نیاز الکتریکی و سرمایشی گلخانه، کمبود آن از طریق خرید از شبکه تأمین می‌گردد. لازم به ذکر است با توجه به پارامترهای هزینه‌ای که در تابع هدف آورده شده‌اند، مسئله با کمک این محدودیت می‌تواند تصمیم بگیرد که در برخی از ساعات برنامه‌ریزی، علی‌رغم وجود توان منابع تجدیدپذیر برای پاسخ‌گویی بارهای مورد نیاز الکتریکی و سرمایشی گلخانه، از توان شبکه برای پاسخ‌گویی استفاده نموده و توان منابع تجدیدپذیر را برای ساعاتی که خرید توان از شبکه گران بوده ذخیره سازد.

$$N_{pv}P_{pv_{hdy}}^{GH} + N_{wd}P_{wd_{hdy}}^{GH} + N_{bt}P_{bt_{hdy}}^{dis} + P_{hdy}^{e-buy} = P_{load_{hdy}}^{e} + N_{bt}P_{bt_{hdy}}^{ch} + N_{ht}P_{ht_{hdy}} \quad ;\forall h,d,y \qquad (۱۱)$$

با توجه به آن‌که در رابطه (۱۱) میزان شارژ و یا دشارژ شدن باتری‌ها با یکدیگر ارتباط داشته و همچنین از وضعیت باتری در ساعات گذشته نیز متأثر هستند، قیود زیر برای ایجاد رابطه منطقی میان شارژ و دشارژ شدن باتری‌ها تعریف می‌شوند. قید (۱۲) بیانگر این موضوع است که در هر ساعت باتری در حالت شارژ یا دشارژ می‌تواند قرار گیرد و همزمان هر دوحالت امکان‌پذیر نیست. قید (۱۳) نیز محدودیت توان شارژ باتری‌ها را بر اساس حداکثر ظرفیت باتری‌ها تعیین می‌نماید. قید (۱۴) محدودیت میزان دشارژ شدن باتری‌ها است و بر اساس تفاوت مجموع میزان شارژ باتری‌ها از مجموع میزان دشارژ باتری‌ها در ساعات گذشته به‌دست می‌آید.

$$P_{bt_{hdy}}^{dis} \times P_{bt_{hdy}}^{ch} = 0 \quad ;\forall h,d,y \qquad (۱۲)$$

$$P_{bt_{hdy}}^{ch} \le P_{bt}^{ch-max} \quad ;\forall h,d,y \qquad (۱۳)$$

$$P_{bt_{hdy}}^{dis} \le \sum_{h=1}^{24} P_{bt_{(h-1)dy}}^{ch} - \sum_{h=1}^{24} P_{bt_{(h-1)dy}}^{dis} \quad ;\forall d,y \qquad (۱۴)$$

همچنین با توجه به محدودیت توان تولیدی منابع تجدیدپذیر در هر ساعت از شبانه‌روز، روابط (۱۵) و (۱۶) میزان تخصیص توان منابع تجدیدپذیر برای استفاده در گلخانه و یا فروش به شبکه را نشان می‌دهند.

$$P_{wd_{hdy}}^{GH} + P_{wd_{hdy}}^{Gr} = P_{wd_{hdy}} \quad ;\forall h,d,y \qquad (۱۵)$$

$$P_{pv_{hdy}}^{GH} + P_{pv_{hdy}}^{Gr} = P_{pv_{hdy}} \quad ;\forall h,d,y \qquad (۱۶)$$

برای تأمین بارهای حرارتی نیز، مشابه تأمین بارهای الکتریکی قیود زیر تعریف می‌گردد. قید (۱۷) مربوط به محدودیت تعادل تولید و مصرف توان حرارتی در هر ساعت است. قید (۱۸) نیز حداکثر ظرفیت تولید حرارت هیترها است.

$$N_{ht}P_{ht_{hdy}} + P_{hdy}^{h-buy} = P_{load_{hdy}}^{h} \quad ;\forall h,d,y \qquad (۱۷)$$

$$P_{ht_{hdy}} \le P_{ht}^{max} \quad ;\forall h,d,y \qquad (۱۸)$$

با توجه محدودیت سرمایه، قید (۱۹) میزان سرمایه در دسترس برای سرمایه‌گذاری را مشخص می‌نماید.

$$N_{pv}C_{pv}^{Inv} + N_{wd}C_{wd}^{Inv} + N_{bt}C_{bt}^{Inv} + N_{ht}C_{ht}^{Inv} \le A \quad ;\forall h,d,y \qquad (۱۹)$$

در انتها نیز برای اخذ مقادیر مجاز متغیرها، روابط زیر تعریف می‌گردند. همانگونه که مشخص است تعداد بهینه واحدهای انرژی مقادیر عدد صحیح می‌توانند اخذ کنند و سایر متغیرها نیز بزرگتر مساوی صفر هستند.

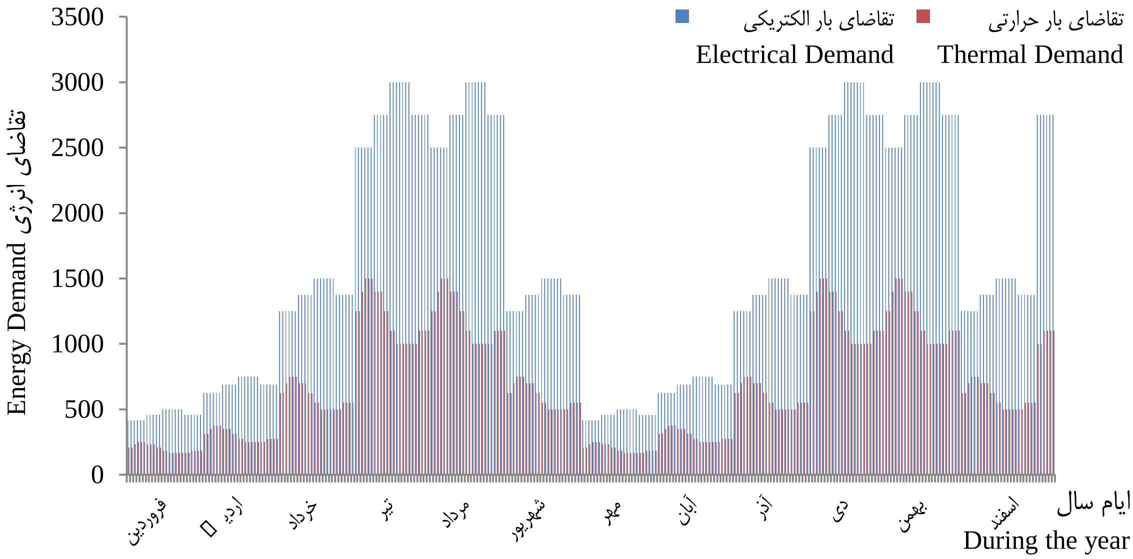
$$N_{pv}, N_{wd}, N_{bt}, N_{ht} \in \mathbb{Z}^{+} \qquad (۱۸)$$

$$P_{hdy}^{e-buy}, P_{hdy}^{h-buy}, P_{bt_{hdy}}^{ch}, P_{bt_{hdy}}^{dis}, P_{ht_{hdy}}, P_{pv_{hdy}}^{GH}, P_{pv_{hdy}}^{Gr}, P_{wd_{hdy}}^{GH}, P_{wd_{hdy}}^{Gr} \ge 0 \qquad (۱۹)$$

نتایج و بحث

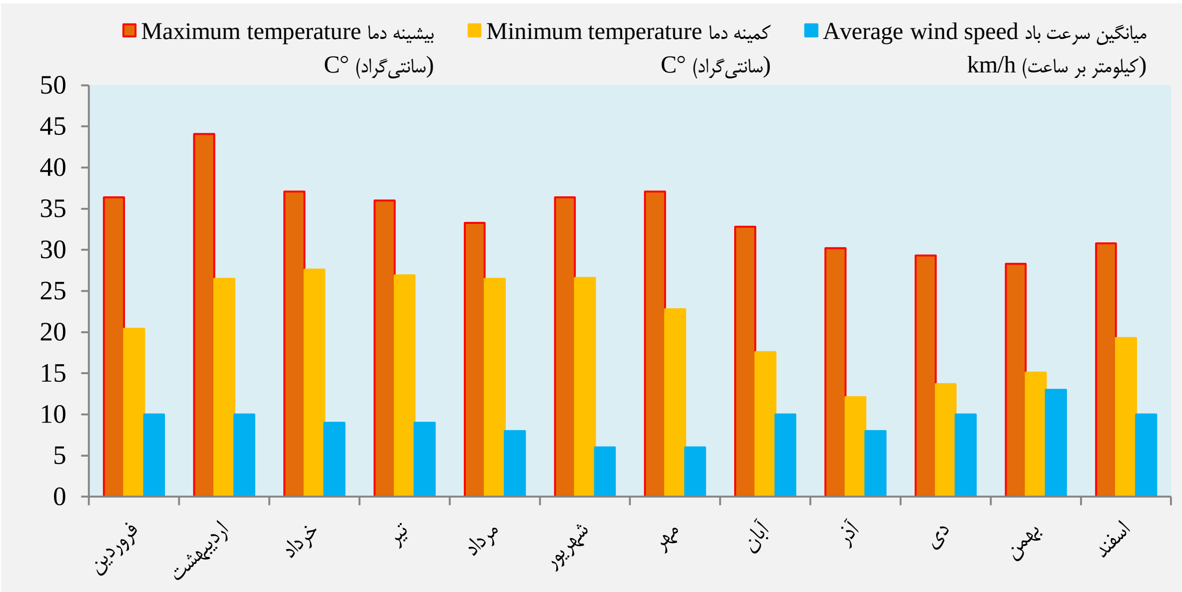
در این پژوهش منطقه ورامین با دارا بودن بیش از ۲۰۰۰ هکتار گلخانه برای استفاده از داده‌های شرایط باد و تابش نور خورشید در نظر گرفته شده است. از جمله مشکلات گلخانه‌داران این شهرستان، قطعی برق به‌خصوص در ایام تابستان بوده که بعضاً اثرات جبران‌ناپذیر به‌خصوص برای محصولات حساس به شرایط دمایی داشته است. با توجه به به مزایای بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر در حالت اتصال به شبکه که در بالا اشاره شد، می‌توان از این رویکرد به‌عنوان راهکاری برای حل مشکل اشاره شده در مدیریت انرژی گلخانه‌ها استفاده نمود.

از آنجایی که مدل‌سازی ارائه شده برای برنامه‌ریزی انرژی به ازای هر کدام از ساعات روزهای ایام سال انجام می‌شود، تعداد داده‌های میزان تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در هر ساعت ($P_{pv_{hdy}}$ و $P_{wd_{hdy}}$) و همچنین تقاضای حراراتی و الکتریکی گلخانه در هر ساعت ($P_{load_{hdy}}^{e}$ و $P_{load_{hdy}}^{h}$)، برای کل مدت زمان پروژه بسیار زیاد خواهد بود. این اندازه مسئله از یک سو و ساختار مدل که از نوع MINLP است از سوی دیگر باعث می‌گردد میزان محاسبات با رشد نمایی زیادی انجام شود. می‌توان شرایط یک روز از هر کدام از ماه‌های سال را به بقیه روزهای آن ماه نیز تعمیم داد و با ۱۲ روز داده تقاضاهای انرژی و منابع انرژی، تعداد بهینه منابع انرژی و ذخیره‌سازها را در طول یکسال به‌دست آورد. این وضعیت در سال‌های طول پروژه با یکدیگر یکسان هستند و کافی هست که درآمد و هزینه متغیر یکسال را محاسبه و با تکرار آن برای سال‌های دیگر به همراه هزینه ثابت سرمایه‌گذاری درآمد انتهای پروژه، درآمد کلی را به‌دست آورد. در همین رابطه پروفایل تقاضای انرژی یک گلخانه در یک سال به همراه اطلاعات میزان دما و متوسط سرعت باد سالانه در شکل‌های ۲ و ۳ قابل مشاهده می‌باشند.



شکل ۲– تقاضای بار الکتریکی و حرارتی گلخانه در طول یک سال

Fig.2. Heat and electric demand of energy in the greenhouse during one year



شکل ۳– وضعیت دما و سرعت باد منطقه ورامین جهت توسعه گلخانه

Fig.3. Condition of the temperature and wind speed of the area for the development of the greenhouse

با توجه به تأثیر هزینه‌های سرمایه‌گذاری بر تعیین میزان توجیه اقتصادی استفاده از منابع تجدیدپذیر و همچنین تاثیر مقادیر قیمت خرید و فروش برق از شبکه اصلی بر روی تخصیص میزان انرژی منابع تجدیدپذیر به گلخانه یا شبکه اصلی، تحلیل حساسیت تغییرات هزینه‌های فوق از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا با توجه به داده‌های فوق، مدل‌سازی ارائه شده برای ۹ مسئله مختلف بر اساس تغییرات مختلف هزینه‌ها اجرا شده است که نتایج آن بر روی مقادیر متغیرهای تصمیم در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

نتایج به‌دست آمده در مسائل ۱ تا ۳ نشان می‌دهند در حالت برابری هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تعمیرات نگهداری انرژی‌های بادی و خورشیدی، استفاده از انرژی بادی نسبت به انرژی خورشیدی توجیه‌پذیر است. لذا در مقادیر متغیرهای تصمیم، تعداد واحدهای انرژی بادی به مراتب بیشتر از تعداد واحدهای انرژی خورشیدی تعیین می‌شوند و به‌ترتیب مقادیر ۱۴، ۱۶ و ۱۶ برای انرژی بادی در مقابل مقادیر ۱، ۰ و ۰ برای انرژی خورشیدی به‌دست می‌آید. از مهمترین دلایل امر، درنظر گرفتن شرایط مناسب سرعت باد بوده که باعث می‌گردد در اکثر مواقع شبانه‌روز در دسترس باشد و با توجه به عدم

امکان استفاده از انرژی خورشیدی در ساعات شب، استفاده از آن در پاسخ بهینه مسئله قرار گیرد. لذا با افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تعمیرات نگهداری انرژی خورشیدی نسبت به انرژی بادی در مسائل ۷ تا ۹، همان تعداد اندک واحدهای انرژی خورشید نظیر مسئله ۱ نیز دیگر توجیه اقتصادی ندارد. در عین حال نتایج نشان می‌دهند که تاثیر هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تعمیرات نگهداری نسبت به تاثیر شرایط بهتر بودن انرژی بادی به انرژی خورشیدی نیز بیشتر است. به نحوی که در مسائل ۴ تا ۶ با درنظر گرفتن هزینه سرمایه‌گذاری ۲برابری و هزینه ۱/۵برابری تعمیرات نگهداری انرژی بادی نسبت انرژی خورشیدی، مشاهده می‌گردد استفاده از انرژی بادی مقرون به صرفه نمی‌باشد.

در حالت تساوی هزینه‌های سرمایه‌گذاری و تعمیرات نگهداری انرژی‌های بادی و خورشیدی، زمانی‌که قیمت خرید و فروش برق برابر باشد، انرژی تولیدی تماماً در گلخانه مصرف می‌شود و در صورت افزایش قیمت فروش، عرضه انرژی به شبکه اصلی توجیه اقتصادی پیدا می‌نماید. همچنین بر اساس نتایج به‌دست آمده در مسئله شماره ۴ مشاهده می‌گردد در برخی از ساعات برنامه‌ریزی، فروش انرژی خورشیدی به شبکه اصلی اتفاق می‌افتد. از دلایل این موضوع آن است که ظرفیت تولید پنل‌های خورشیدی مفروض در مسئله بالاتر از توربین‌های بادی است و زمانی‌که تعداد واحدهای خورشیدی بالا باشند، توان تولیدی آن‌ها بیشتر از نیاز گلخانه بوده و مازاد آن قابل عرضه با شبکه اصلی می‌باشد. از سویی دیگر با افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری انرژی بادی نسبت انرژی خورشیدی، مشاهده می‌گردد نتایج میزان فروش برق به شبکه تقریباً مشابه انرژی خورشیدی تکرار می‌گردد. همچنین در حالت اختلاف زیاد قیمت فروش برق نسبت به قیمت خرید برق از شبکه، مشاهده می‌شود در هر ساعت، فروش برق به شبکه مقدار مثبت می‌گیرد و به تعداد کل ۲۸۸ ساعت دوره برنامه‌ریزی می‌رسد.

جدول ۱- مسائل مختلف حل شده بر اساس مدل‌سازی ارائه شده

Table 1- Various issues that solved based on presented model

رابطه بین هزینه‌های سرمایه‌گذاری Ratio of investment costs	شماره مسئله Problem number	رابطه میان قیمت خرید و فروش برق Ratio of buying and selling costs of power	مقادیر متغیرهای تصمیم Value of decision variables	مقدار تابع هدف در سال مورد نظر Value of objective function
	1	$R_{hdy}^{e-sale} = C_{hdy}^{e-buy}$	$N_{pv} = 1, N_{wd} = 14, N_{bt} = 2\ , N_{ht} = 2\ , No\ P_{pv}^{Gr} = 0, No\ P_{pv}^{GH} = 132, No\ P_{wd}^{Gr} = 0, No\ P_{wd}^{GH} = 288$	2,671,900
$C_{pv}^{Inv} = C_{wd}^{Inv}$ $C_{pv}^{PM} = C_{wd}^{PM}$	2	$R_{hdy}^{e-sale} = 5C_{hdy}^{e-buy}$	$N_{pv} = 0, N_{wd} = 16, N_{bt} = 0\ , N_{ht} = 1\ , No\ P_{pv}^{Gr} = 0, No\ P_{pv}^{GH} = 0, No\ P_{wd}^{Gr} = 288, No\ P_{wd}^{GH} = 0$	10,263,000
	3	$R_{hdy}^{e-sale} = 10C_{hdy}^{e-buy}$	$N_{pv} = 0, N_{wd} = 16, N_{bt} = 0\ , N_{ht} = 1\ , No\ P_{pv}^{Gr} = 0, No\ P_{pv}^{GH} = 0, No\ P_{wd}^{Gr} = 288, No\ P_{wd}^{GH} = 0$	23,223,000
	4	$R_{hdy}^{e-sale} = C_{hdy}^{e-buy}$	$N_{pv} = 15, N_{wd} = 0, N_{bt} = 3\ , N_{ht} = 2\ , No\ P_{pv}^{Gr} = 48, No\ P_{pv}^{GH} = 132$	1,457,300
$2C_{pv}^{Inv} = C_{wd}^{Inv}$ $1.5C_{pv}^{PM} = C_{wd}^{PM}$	5	$R_{hdy}^{e-sale} = 5C_{hdy}^{e-buy}$	$N_{pv} = 15, N_{wd} = 0, N_{bt} = 0\ , N_{ht} = 5\ , No\ P_{pv}^{Gr} = 132, No\ P_{pv}^{GH} = 0$	7,394,600
	6	$R_{hdy}^{e-sale} = 10C_{hdy}^{e-buy}$	$N_{pv} = 16, N_{wd} = 0, N_{bt} = 0\ , N_{ht} = 1\ , No\ P_{pv}^{Gr} = 132, No\ P_{pv}^{GH} = 0$	17,463,000
	7	$R_{hdy}^{e-sale} = C_{hdy}^{e-buy}$	$N_{pv} = 0, N_{wd} = 15, N_{bt} = 2\ , N_{ht} = 2\ , No\ P_{wd}^{Gr} = 0, No\ P_{wd}^{GH} = 288$	2,705,300
$C_{pv}^{Inv} = 2C_{wd}^{Inv}$ $C_{pv}^{PM} = 1.5C_{wd}^{PM}$	8	$R_{hdy}^{e-sale} = 5C_{hdy}^{e-buy}$	$N_{pv} = 0, N_{wd} = 16, N_{bt} = 0\ , N_{ht} = 1\ , No\ P_{wd}^{Gr} = 288, No\ P_{wd}^{GH} = 0$	10,263,000
	9	$R_{hdy}^{e-sale} = 10C_{hdy}^{e-buy}$	$N_{pv} = 0, N_{wd} = 16, N_{bt} = 0\ , N_{ht} = 1\ , No\ P_{wd}^{Gr} = 288, No\ P_{wd}^{GH} = 0$	23,223,000

نتیجه‌گیری

نقش روش‌های نوین کشاورزی نظیر کشت گلخانه‌ای در موضوع امنیت غذا برای کشورها انکارناپذیر است. اما یکی از مهم‌ترین ابعاد توسعه گلخانه‌ها، تأمین انرژی مورد نیاز گلخانه‌ها است. لذا در این پژوهش موضوع بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر بادی و خورشیدی برای توسعه گلخانه‌ها در حالت اتصال به شبکه مورد بررسی قرار گرفت. هدف پیدا کردن تعداد بهینه واحدهای انرژی تجدیدپذیر و ذخیره‌سازها برای تأمین نیازهای انرژی گلخانه است به نحوی که با توجه به امکان خرید و فروش انرژی به شبکه اصلی، درآمد حاصل بیشینه گردد. بر اساس مدل‌سازی ارائه شده، ۹مسئله مختلف اجرا و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مسائل فوق نشان می‌دهند، در صورت برابری قیمت خرید و فروش برق، انرژی تولیدی تماماً در گلخانه مصرف می‌شود و در صورت افزایش قیمت فروش، عرضه انرژی به شبکه اصلی توجیه اقتصادی پیدا می‌نماید. همچنین از دیگر نتایج مسائل فوق تاثیر به‌سزای شرایط جغرافیایی منطقه مورد بررسی از حیث میزان سرعت باد و میزان تابش نور خورشید است به نحوی که با بالا بودن میزان دسترسی به یکی از منابع باد یا خورشید، می‌تواند به عدم توجیه استفاده هم‌زمان از انرژی‌های تجدیدپذیر شود. از مهمترین کارکردهای مدل‌سازی و تحلیل‌های ارائه شده برای توسعه گلخانه‌های مناطقی است که دارای مشکلات تأمین انرژی نظیر قطع و وصلی برق هستند. چراکه این عدم تأمین انرژی به موقع، بعضاً اثرات جبران‌ناپذیری را برای رشد محصولات گلخانه‌ای به‌خصوص برای محصولات حساس به شرایط دمایی خواهد داشت.

مدل‌سازی‌های انجام شده در این پژوهش با فرض عدم هزینه بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر بودند و درنظر گرفتن این هزینه در مدل‌سازی می‌تواند از پژوهش‌های آینده لحاظ شود. برای این هزینه می‌بایست تغییرات مورد نیازش از جمله تغییر میزان انرژی هر ساعت منابع تجدیدپذیر از یک پارامتر به یک متغیر تصمیم و درنظر گرفتن حداکثر میزان استفاده از منابع تجدیدپذیر را لحاظ نمود. همچنین از آنجایی‌که عدم تأمین مناسب انرژی برای گلخانه‌ها، در رشد محصولات تاثیر به‌سزایی خواهد داشت، درنظر گرفتن هزینه عدم تأمین انرژی در مدل‌سازی می‌تواند یکی از توسعه‌های پژوهش حاضر باشد. برای این موضوع نیز درنظر گرفتن هزینه‌های کمبود انواع انرژی‌های مورد نیاز در هر ساعت برنامه‌ریزی و یا لحاظ نمودن انحراف از وضعیت مطلوب چهار جزء اصلی انرژی مورد نیاز گلخانه‌ها یعنی دما، نور، رطوبت و CO_2 می‌تواند از جهت مدل‌سازی درنظر گرفته شود. از دیگر توسعه‌های این پژوهش درنظر گرفتن تاثیر برنامه‌های پاسخگویی بار بر میزان انرژی مورد نیاز گلخانه‌داران است. این موضوع می‌تواند در مدیریت برنامه کشت محصولات گلخانه و به دنبال آن افزایش درآمدزایی برای گلخانه‌داران دیده شود. یکی دیگر از مهمترین جنبه‌های توسعه این پژوهش، تعمیم مدل‌سازی از یک گلخانه به مجتمع‌های گلخانه‌ای است. برای این موضوع نیز بهره‌گیری از مفهوم میکروهاب برای گلخانه‌ها و مدیریت آن‌ها می‌تواند راهگشا باشد. علاوه بر پیشنهادهای فوق در زمینه مسائل انرژی و گلخانه برای پژوهش‌های آینده، از جنبه‌های ابزارها و روش‌های مختلف مدل‌سازی و حل مدل نظیر روش‌های مختلف فراابتکاری و یا مدل‌سازی در حالت چندهدفه نیز، پژوهش‌های متنوعی می‌تواند انجام شود.

References

1. Banaeian, N., M. Omid, and H. Ahmadi. 2011. Energy Conversion and Management 52 (2): 1020-1025.
2. Blasco, X., M. Martínez, J. M. Herrero, C. Ramos, and J. Sanchis. 2007. Model-based predictive control of greenhouse climate for reducing energy and water consumption. Computers and Electronics in Agriculture 55 (1): 49-70.
3. Bozchalui, M. C., C. A. Cañizares, and K. Bhattacharya. 2015. Optimal Energy Management of Greenhouses in Smart Grids. IEEE Trans. Smart Grid 6 (2): 827-835.
4. Chen, J., J. Yang, J. Zhao, F. Xu, Z. Shen, and L. Zhang. 2016. Energy demand forecasting of the greenhouses using nonlinear models based on model optimized prediction method. Neurocomputing 174: 1087-1100.
5. Cuce, E., D. Harjunowibowo, and P. M. Cuce. 2016. Renewable and sustainable energy saving strategies for greenhouse systems: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 64: 34-59.
6. Fabrizio, E. 2012. Energy reduction measures in agricultural greenhouses heating: Envelope, systems and solar energy collection. Energy and Buildings 53: 57-63.
7. Hatirli, S. A., B. Ozkan, and C. Fert. 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. Renewable Energy 31 (4): 427-438.
8. Heidari, M. D., and M. Omid. 2011. Energy use patterns and econometric models of major greenhouse vegetable productions in Iran. Energy 36 (1): 220-225.
9. Hussain, A., I. S. Choi, Y. H. Im, and H. M. Kim. 2018. Optimal Operation of Greenhouses in Microgrids Perspective. IEEE Transactions on Smart Grid.

10. Ghasemi Mobtaker, H., Y. Ajabshirchi, S. F. Ranjbar, and M. Matloobi. 2017. Investigating the Effect of a North Wall on Energy Consumption of an East–West Oriented Single Span Greenhouse. Journal of Agricultural Machinery Engineering 7 (2): 350-363. (In Farsi).
11. Lasseter, R. H. 2002. Microgrids. In Power Engineering Society Winter Meeting, 2002. IEEE (Vol. 1, pp. 305-308). IEEE.
12. Mobtaker, H. G., Y. Ajabshirchi, S. F. Ranjbar, and M. Matloobi. 2016. Solar energy conservation in greenhouse: Thermal analysis and experimental validation. Renewable Energy 96: 509-519.
13. Mohammadi, A., and M. Omid. 2010. Economic analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. Applied Energy 87 (1): 191-196.
14. Momeni, D., and M. H. Rahmati. 2012. Evaluation of the effects of temperature and humidity control on greenhouse cucumber production in Jiroft and Kahnoj area. Journal of Agricultural Machinery 2 (1): 38-45. (In Farsi).
15. Mortezapour, H., M. Jafari, K. Jafari Naeimi, and M. M. Maharlooei. 2017. Experimental Investigation of a Solar Greenhouse Heating System Equipped with a Parabolic Trough Solar Concentrator and a Double-Purpose Flat Plate Solar Collector. Journal of Agricultural Machinery 7 (2): 364-378. (In Farsi).
16. Nederhoff, E., and B. Houter. 2007. Improving energy efficiency in greenhouse vegetable production. Wellington, NZ.
17. Ozkan, B., R. F. Ceylan, and H. Kizilay. 2011. Energy inputs and crop yield relationships in greenhouse winter crop tomato production. Renewable Energy 36 (11): 3217-3221.
18. Pahlavan, R., M. Omid, and A. Akram. 2012. Energy input–output analysis and application of artificial neural networks for predicting greenhouse basil production. Energy 37 (1): 171-176.
19. Petreus, D., R. Etz, T. Patarau, and C. Orian. 2015. Microgrid concept based on distributed renewable generators for a greenhouse. Acta Technica Napocensis 56 (2): 31.
20. Samavatean, N., Sh. Rafiee, H. Mobli, and A. Mohammadi. 2011. An analysis of energy use and relation between energy inputs and yield, costs and income of garlic production in Iran. Renewable Energy 36 (6): 1808-1813.
21. Vadiee, A., and V. Martin. 2014. Energy management strategies for commercial greenhouses. Applied Energy 114: 880-888.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 11, No. 2, Fall- Winter 2021, p. 293-303

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۲، نیمسال دوم ۱۴۰۰، ص ۳۰۳-۲۹۳

Greenhouses Energy Supply Modeling Using Renewable Energy in Grid-Connected mode

S. Mirzamohammadi[1*], A. Jabbarzadeh[2], M. Salehi Shahrabi[3]

Received: 20-03-2019
Accepted: 14-07-2019

Introduction

The increasing global population on the one hand and limited water and soil resources on the other hand, contribute to the need for the supply of agricultural products by adopting modern methods. One of the modern methods of farming is the cultivation of products in commercial greenhouses. Despite favorable performance of greenhouses in the agricultural sector, high demand for direct and indirect energy is among the main considerations of developing them because the energy supply of greenhouses has the highest influence on the performance of greenhouses, quality of products, and market price of products. In this study, the energy supply of greenhouses in the case of using renewable resources is done in a grid connection state. Trading energy with main grid is enabled. Decision-makers' objective is determining the optimal number of renewable resources and energy storage units for the purpose of income maximization.

Materials and Methods

Basically, the supply of energy for greenhouses or in other terms supply of electric, cooling, and heating loads required by greenhouses is intended to cover lighting, internal temperature, emission of CO_2, and relative humidity. Since many greenhouses have proper access to the main grid for the supply of their demanded load, the problem seeks maximum use of renewable energy rather than buying power from the grid for supplying the loads which greenhouses need to its secure revenues. To this, mathematical modeling has used to determine the optimal number of energy sources and storage units that revenues of using renewable energy resources be optimized based on existing limitations. These limitations include balancing generation and consumption of thermal and electrical power in each hour, logical relationship between charging and discharging of batteries, limit of power generation of renewable sources in each hour of the day and the level of capital available for investment.

Results and Discussion

Based on the collected data, 9 different issues have been defined in terms of the proportion of costs of solar energy and wind energy and the proportion of purchasing and selling price of power. The obtained results suggest that in the case of equality of investment and maintenance costs of solar and wind energies, the use of wind energy rather than solar energy will be justified. The most significant reasons for this is considering proper conditions of wind speed which causes its inclusion in optimal solution of the problem since using solar energy during nightly hours is impossible. In addition, in the case of the equality of above costs, when purchasing and selling price of power cost is the same, the generated energy is completely used in the greenhouse. In the case of increasing the selling price, energy supply to the main grid will be economically justified. Since investment and maintenance costs of wind power are two times and 1.5 times higher than those of solar energy, using wind energy is cost-effective.

Conclusions

The results suggest that in the case of an equal price of selling power to the grid and buying power from it, all of the energy will be consumed in the greenhouse. In the case of an increase in selling price, the supply of energy to the main grid will be economically justified. In addition, the results imply the significant effect of geographic conditions of the region, since sometimes concurrent use of renewable energies is unjustified. Since the lack of supply of energy to greenhouses significantly influences the cultivation of products, considering the cost of lack of energy supply in modeling is one of the contributions of the present study. Another significant aspect of the study is the generalization of modeling from the greenhouse to greenhouse complexes. To do so, using the notion of micro-hub for greenhouses and their management will be useful.

Keywords: Energy security, Food security, Greenhouse, Renewable energy

1- Assistant Professor, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology
2- Assistant Professor, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology
3- PhD. Student, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology
(*- Corresponding Author Email: mirzamohammadi@iust.ac.ir)